

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
7. Juli 2005 (07.07.2005)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2005/061876 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: F02D 41/20,  
35/02

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): VOLKSWAGEN MECHATRONIC GMBH & CO. KG [DE/DE]; Auer Strasse 19, 09366 Stollberg (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2004/014270

(72) Erfinder; und

(22) Internationales Anmelde datum:  
15. Dezember 2004 (15.12.2004)

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BEILHARZ, Jörg [DE/DE]; Am Lappjagen 55, 14169 Berlin (DE). REBESCHIESS, Sven [DE/DE]; Im Hagen 9a, 14532 Kleinmachnow (DE). SCHMIDT, Harald [AT/AT]; Geissfussgasse 2-6/RH5, A-1100 Wien (AT). KRONBERGER, Maximilian [DE/DE]; Zollerstrasse 15, 93053 Regensburg (DE). PIRKL, Richard [DE/DE]; Kleinfeld 7, 93055 Regensburg (DE). WIEHOFF, Hans-Jörg [DE/DE]; Dr.-Leo-Ritter-Str. 33, 93049 Regensburg (DE).

(25) Einreichungssprache: Deutsch

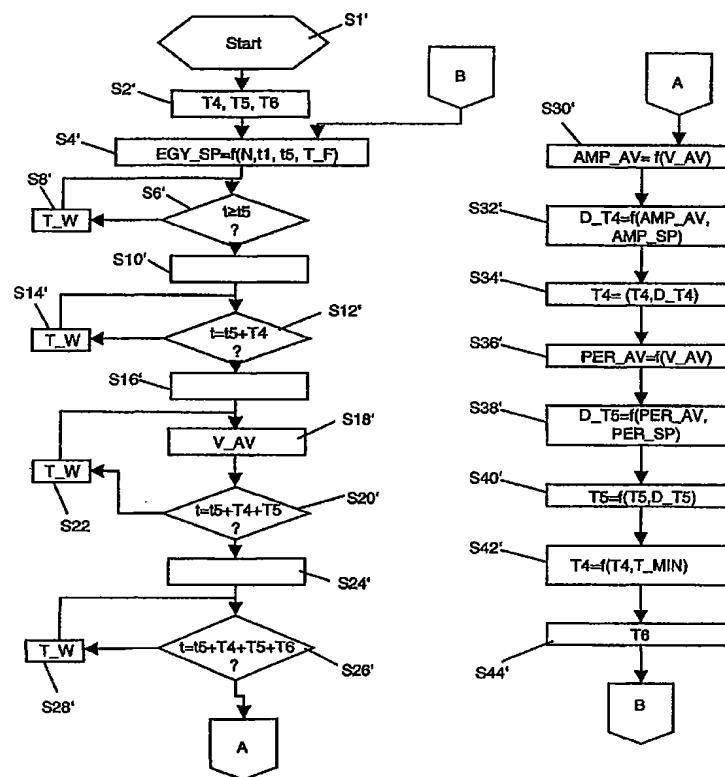
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
103 60 019.1 19. Dezember 2003 (19.12.2003) DE

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR CONTROLLING A VALVE AND METHOD FOR CONTROLLING A PUMP/NOZZLE DEVICE WITH A VALVE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM STEUERN EINES VENTILS UND VERFAHREN ZUM STEUERN EINER PUMPE-DÜSE-VORRICHTUNG MIT EINEM VENTIL



(57) Abstract: A valve has a valve actuating device, which is provided in the form of a piezo actuator, a valve element, a valve body and a valve seat. At a predetermined point in time (t5), the valve element is controlled by a discharging process of the piezo actuator from a position in which it rests against the valve seat to a predetermined position located at a distance from the valve seat. The discharging process is divided into a first discharging period (T4) during which a predetermined first amount of electrical energy is discharged from the piezo actuator, a subsequent holding time period (T5) during which the piezo actuator is not controlled, and a subsequent second discharging period (T6) during which a predetermined second amount of electrical energy is discharged from the piezo actuator. The holding time duration (T5) and/or the first discharging period (T4) are adapted according to the course of a value that is not characteristic of the oscillation behavior of the piezo actuator during the holding time period (T5). The invention also relates to a corresponding method for a charging process of the piezo actuator.

WO 2005/061876 A1

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



(74) **Anwälte:** BECK, Josef usw.; WILHELM & BECK, Nymphenburger Str. 139, 80636 München (DE).

(81) **Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart):** AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart):** ARIPO (BW,

GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

---

(57) **Zusammenfassung:** Ein Ventil hat einen Ventilantrieb, der als Piezoaktor ausgebildet ist, ein Ventilglied, einen Ventilkörper und ein Ventilsitz. Zu einem vorgebbaren Zeitpunkt wird das Ventilglied von einer Position in Anlage mit dem Ventilsitz in eine vorgegebene Position entfernt von dem Ventilsitz gesteuert durch einen Entladevorgang des Piezoaktors. Der Entladevorgang wird aufgeteilt in eine erste Entladezeitdauer, während der eine vorgegebene erste elektrische Energiemenge von dem Piezoaktor abgeführt wird, eine darauffolgende Haltezeitdauer, während der der Piezoaktor nicht angesteuert wird, und eine darauffolgende zweite Entladezeitdauer, während der eine vorgegebene zweite elektrische Energiemenge von dem Piezoaktor abgeführt wird. Abhängig von dem Verlauf einer Grösse, die nicht charakteristisch ist für das Schwingungsverhalten des Piezoaktors während der Haltezeitdauer, wird die Haltezeitdauer und/oder die erste Entladezeitdauer adaptiert. Ein entsprechendes Verfahren ist auch für einen Ladevorgang des Piezoaktors vorgesehen.

## Beschreibung

### Verfahren zum Steuern eines Ventils und Verfahren zum Steuern einer Pumpe-Düse-Vorrichtung mit einem Ventil

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Steuern eines Ventils. Sie betrifft ferner ein Verfahren zum Steuern einer Pumpe-Düse-Vorrichtung mit einem Ventil. Das Ventil hat einen Ventilantrieb, der als Piezoaktor ausgebildet ist, ein Ventilglied, einen Ventilkörper und einen Ventilsitz. Eine Pumpe-Düse-Vorrichtung wird insbesondere zur Kraftstoffzufuhr in einen Brennraum eines Zylinders einer Brennkraftmaschine, insbesondere einer Diesel-Brennkraftmaschine, eingesetzt. Bei einer Pumpe-Düse-Vorrichtung bilden eine Pumpe, eine Steuer-Einheit mit dem Ventil und eine Düsen-Einheit eine Baueinheit. Der Antrieb eines Kolbens der Pumpe erfolgt vorzugsweise über eine Nockenwelle einer Brennkraftmaschine mittels eines Kipphebels.

Die Pumpe ist über das Ventil an eine Niederdruck-Kraftstoff-zuführeinrichtung hydraulisch koppelbar. Sie ist ausgangsseitig mit der Düsen-Einheit hydraulisch gekoppelt. Einspritzbeginn und Einspritzmenge werden durch das Ventil und dessen Ventilantrieb bestimmt. Durch die kompakte Bauweise der Pumpe-Düse-Vorrichtung ergibt sich ein sehr geringes Hochdruckvolumen und eine große hydraulische Steifigkeit. Es werden so sehr hohe Einspritzdrücke von zirka 2.000 bar ermöglicht. Dieser hohe Einspritzdruck in Verbindung mit der guten Steuerbarkeit des Einspritzbeginns und der Einspritzmenge ermöglichen eine deutliche Reduktion der Emissionen bei gleichzeitig niedrigem Kraftstoffverbrauch beim Einsatz in der Brennkraftmaschine.

Aus der DE 198 35 494 C2 ist eine Pumpe-Düse-Vorrichtung bekannt mit einer Pumpe und einem Ventil mit einem Ventilglied, das die hydraulische Kopplung eines Absteuerraums mit einem Ablaufkanal steuert. Der Ablaufkanal ist hydraulisch gekoppelt mit der Pumpe und einer Düseneinheit. Ein Zulaufkanal ist vorgesehen, der hydraulisch gekoppelt ist mit dem Absteuerraum. Dem Ventilglied ist ein piezoelektrischer Ventilantrieb zugeordnet, über den das Ventilglied zwischen zwei Endstellungen verstellt werden kann. In einer ersten Endstellung des Ventilglieds ist der Ablaufkanal hydraulisch gekoppelt mit einem Absteuerraum und dieser wiederum mit dem Zulaufkanal. In einer zweiten Endstellung des Ventilglieds ist der Ablaufkanal hydraulisch entkoppelt von dem Absteuerraum und das Ventilglied ist in einem Ventilsitz des Ventils.

In der ersten Endstellung des Ventilglieds wird während eines Förderhubs der Pumpe Fluid von dem Zulaufkanal über den Absteuerraum und den Ablaufkanal von der Pumpe angesaugt. Während eines Arbeitshubs eines Pumpenkolbens der Pumpe wird in der ersten Endposition des Ventilglieds Fluid von der Pumpe über den Zulaufkanal, den Absteuerraum in den Ablaufkanal zurückgedrückt. In der zweiten Endstellung des Ventilglieds kann während des Förderhubs des Pumpenkolbens wegen der fehlenden hydraulischen Kopplung des Ablaufkanals mit dem Absteuerraum und dem Ablaufkanal kein Fluid zurückgedrückt werden und der Pumpenkolben erzeugt Hochdruck. Mit Überschreiten einer vorgegebenen Druckschwelle öffnet eine Düsenadel der Düseneinheit eine Düse der Düseneinheit und es erfolgt eine Einspritzung des Fluids. Das Einspritzende wird dadurch bestimmt, dass das Ventilglied mittels des Stellantriebs in seine erste Endposition gesteuert wird und so Fluid über den Ablaufkanal in den Absteuerraum und den Zulaufkanal zurückströmen kann, was zur Folge hat, dass der Druck in der Pumpe

und somit auch in der Düseneinheit abnimmt, was wiederum zu einem Schließen der Düseneinheit führt.

Ein präzises Zumessen von Kraftstoff durch die Pumpe-Düse-Vorrichtung setzt eine sehr präzise Ansteuerbarkeit des Ventils voraus.

Aus der EP 1179129 B1 ist ein Verfahren zum Ansteuern eines Einspritzventils mit einem piezoelektrischen Aktor bekannt, bei dem beim Öffnen und Schließen des Ventils der piezoelektrische Aktor anfänglich mit einer ersten Teilladung mit einer maximalen Steigung umgeladen wird und so einen Teilhub durchführt. Nach einer Umladepause mit einer vorgegebenen Zeitdauer wird dann der piezoelektrische Aktor in derselben Richtung mit einer zweiten Teilladung auf den endgültigen Hub geladen, wobei die Steigung für die zweite Teilladung kleiner ist als die maximale Steigung des ersten Teilhubs.

Die Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zum Steuern eines Ventils oder einer Pumpe-Düse-Vorrichtung mit dem Ventil zu schaffen, das ein präzises Ansteuern des Ventils gewährleistet.

Die Aufgabe wird gelöst durch die Merkmale der unabhängigen Patentansprüche. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen definiert.

Die Erfindung zeichnet sich aus durch ein Verfahren zum Steuern eines Ventils mit einem Ventilantrieb, der als Piezoaktor ausgebildet ist, mit einem Ventilglied, einem Ventilkörper und einem Ventilsitz. Zu einem vorgebbaren Zeitpunkt wird das Ventilglied von einer Position in Anlage mit dem Ventilsitz in eine vorgegebene Position entfernt von dem Ventilsitz ge-

steuert durch einen Entladevorgang des Piezoaktors. Der Entladevorgang wird aufgeteilt in eine erste Entladezeitdauer, während der eine vorgegebene erste elektrische Energiemenge von dem Piezoaktor abgeführt wird, eine darauf folgende Haltezeitdauer, während der der Piezoaktor nicht angesteuert wird, und eine darauf folgende zweite Entladezeitdauer, während der eine vorgegebene zweite elektrische Energiemenge von dem Piezoaktor abgeführt wird. Abhängig von dem Verlauf einer Größe, die charakteristisch ist für das Schwingungsverhalten des Piezoaktors während der Haltezeitdauer, wird die Haltezeitdauer und/oder die erste Entladezeitdauer adaptiert. Dadurch können einfach Druckschwingungen auch unter verschiedenenartigen Betriebsbedingungen des Ventils stark gedämpft werden, die durch das Freigeben des Ventilsitzes in einem Fluid entstehen, das durch das Ventil strömt. Ferner können so auch Geräuschemissionen einfach verringert werden.

Die Größe ist bevorzugt die Energiemenge, die dem Piezoaktor abgeführt bzw. zugeführt wird, oder die Spannung, die an dem Piezoaktor abfällt, oder der Strom, der durch den Piezoaktor fließt, oder die in ihm gespeicherte Ladung.

Die Erfindung zeichnet sich ferner aus durch ein Verfahren zum Steuern des Ventils, bei dem zu einem vorgebbaren Zeitpunkt das Ventilglied von einer vorgegebenen Position entfernt von dem Ventilsitz in den Ventilsitz gesteuert wird durch einen Ladevorgang des Piezoaktors. Der Ladevorgang wird aufgeteilt in eine erste Ladezeitdauer, während der eine vorgegebene erste elektrische Energiemenge dem Piezoaktor zugeführt wird, eine darauffolgende Haltezeitdauer, während der der Piezoaktor nicht angesteuert wird, und eine darauffolgende zweite Ladezeitdauer, während der eine vorgegebene zweite elektrische Energiemenge dem Piezoaktor zugeführt wird. Ab-

hängig von dem Verlauf einer Größe, die charakteristisch ist für das Schwingungsverhalten des Piezoaktors während der Haltezeitdauer, wird die Haltezeitdauer und/oder die erste Ladezeitdauer adaptiert. Dadurch kann auch ein Prellen beim Auftreffen auch unter verschiedenartigen Betriebsbedingungen des Ventils einfach vermieden werden.

Bevorzugt werden die Verfahren auch zum Steuern einer Pumpe-Düse-Vorrichtung eingesetzt.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird die Haltezeitdauer und/oder die erste Entladezeitdauer bzw. die erste Ladezeitdauer adaptiert abhängig von einer Amplitude und/oder der Periode des Verlaufs der Größe, die charakteristisch ist für das Schwingungsverhalten des Piezoaktors während der Haltezeitdauer. Dies ist besonders einfach.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird die Haltezeitdauer adaptiert abhängig von der Periode des Verlaufs der Größe, die charakteristisch ist für das Schwingungsverhalten des Piezoaktors während der Haltezeitdauer. Die Haltezeitdauer kann so einfach auf einen bestimmten Abschnitt einer oder mehrerer Schwingungen der Größe, die charakteristisch ist für das Schwingungsverhalten des Piezoaktors während der Haltezeitdauer eingestellt werden, so z.B. auf eine Halbschwingung der Größe.

Es ist ferner vorteilhaft, wenn die erste Entladezeitdauer bzw. die erste Ladezeitdauer adaptiert wird abhängig von der Amplitude des Verlaufs der Größe, die charakteristisch ist für das Schwingungsverhalten des Piezoaktors während der Haltezeitdauer. Dies hat den Vorteil, dass die Amplitude des Verlaufs der Größe besonders charakteristisch ist für ein

mögliches Auftreten eines Prellens oder von Druckschwingungen des Fluids. Durch das Adaptieren der ersten Entladezeitdauer bzw. der ersten Ladezeitdauer wird der Anteil der ersten Energiemenge an der Summe der ersten und zweiten Energiemenge verschoben und so sehr wirkungsvoll die Amplitude verändert. Insgesamt kann so noch wirksamer ein Prellen vermieden werden bzw. Druckschwingungen gedämpft werden.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird im Hinblick auf den Ladevorgang die Summe der ersten Ladezeitdauer und der Haltezeitdauer auf einen Maximalwert begrenzt, bei dem sichergestellt ist, dass das Ventilglied noch nicht in Anlage mit dem Ventilsitz ist. Dies hat den Vorteil, dass einfach ein sicherer Sitz des Ventilglieds in dem Ventilsitz gewährleistet werden kann nach Abschluss des Ladevorgangs.

Das Verfahren kann besonders vorteilhaft eingesetzt werden zum Steuern einer Pumpe-Düse-Vorrichtung, wenn die erste Entladezeitdauer auf einen Minimalwert begrenzt wird, bei dem sichergestellt ist, dass eine Düsenadel der Düseneinheit der Pumpe-Düse-Vorrichtung eine Düse verschließt, über die der Kraftstoff zugemessen wird. Da die Düsenadel bei der Pumpe-Düse-Vorrichtung hydraulisch über einen Ablaufkanal mit dem Ventil gekoppelt ist, kann so sichergestellt werden, dass ein Kraftstoffförderende nicht beeinflusst wird.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind im folgenden anhand der schematischen Zeichnungen erläutert. Es zeigen:

Figur 1 eine Pumpe-Düse-Vorrichtung mit einem Ventil und einer Vorrichtung zum Steuern des Ventils, in der

das Verfahren zum Steuern des Ventils abgearbeitet wird,

Figuren 2a, 2b, 2c zeitliche Verläufe der Piezospansnung V\_INJ, des Hubs CTRL\_VL des Ventilglieds 231 und der Geschwindigkeit CTRL\_VL\_V des Hubs CTRL\_VL des Ventilglieds 231,

Figur 3 ein Ablaufdiagramm eines Programms zum Steuern der Pumpe-Düse-Vorrichtung, und

Figur 4 ein weiteres Ablaufdiagramm eines Programms zum Steuern der Pumpe-Düse-Vorrichtung.

Elemente gleicher Konstruktion und Funktion sind figurenübergreifend mit den gleichen Bezugszeichen gekennzeichnet.

Die Pumpe-Düse-Vorrichtung (Figur 1) umfasst eine Pumpeneinheit, eine Steuereinheit und eine Düseneinheit. Die Pumpe-Düse-Vorrichtung wird bevorzugt eingesetzt zum Zuführen von Kraftstoff in den Brennraum eines Zylinders einer Brennkraftmaschine. Die Brennkraftmaschine ist vorzugsweise als Diesel-Brennkraftmaschine ausgebildet. Die Brennkraftmaschine hat einen Ansaugtrakt zum Ansaugen von Luft, der mittels Gaseinlassventilen mit Zylindern koppelbar ist. Die Brennkraftmaschine weist ferner einen Abgastrakt auf, der über das Auslassventil gesteuert die aus den Zylindern auszustoßenden Gase abführt. Den Zylindern sind jeweils Kolben zugeordnet, die jeweils über eine Pleuelstange mit einer Kurbelwelle gekoppelt sind. Die Kurbelwelle ist mit einer Nockenwelle gekoppelt.

Die Pumpeneinheit umfasst einen Kolben 11, einen Pumpenkörper 12, einen Arbeitsraum 13 und ein Pumpen-Rückstellmittel 14, das vorzugsweise als Feder ausgebildet ist. Der Kolben 11 ist im eingebauten Zustand in einer Brennkraftmaschine mit einer

Nockenwelle 16 gekoppelt, vorzugsweise mittels eines Kipphebels, und wird von dieser angetrieben. Der Kolben 11 ist in einer Ausnehmung des Pumpenkörpers 12 geführt und bestimmt abhängig von seiner Position das Volumen des Arbeitsraums 13. Das Pumpen-Rückstellmittel 14 ist so ausgebildet und angeordnet, dass das durch den Kolben 11 begrenzte Volumen des Arbeitsraums 13 einen Maximalwert aufweist, wenn auf den Kolben 11 keine äußeren Kräfte einwirken, d. h. Kräfte, die über die Kopplung mit der Nockenwelle 16 übertragen werden.

Die Düseneinheit umfasst einen Düsenkörper 51, in dem ein Düsenrückstellmittel 52, das als Feder und ggf. zusätzlich als Dämpfungseinheit ausgebildet ist, und eine Düsennadel 53 angeordnet sind. Die Düsennadel 53 ist in einer Ausnehmung des Düsenkörpers 51 angeordnet und wird im Bereich einer Nadelführung 55 geführt.

In einem ersten Zustand liegt die Düsennadel 53 an einem Nadelsitz 54 an und verschließt so eine Düse 56, die zum Zuführen des Kraftstoffs in den Brennraum des Zylinders der Brennkraftmaschine vorgesehen ist. Die Düseneinheit ist vorzugsweise, wie dargestellt, als nach innen öffnende Düseneinheit ausgebildet.

In einem zweiten Zustand ist die Düsennadel 53 leicht beabstandet zu dem Nadelsitz 54 und zwar hin in Richtung zu dem Düsenrückstellmittel 52 angeordnet und gibt so die Düse 56 frei. In diesem zweiten Zustand wird Kraftstoff in den Brennraum des Zylinders der Brennkraftmaschine zugemessen. Der erste oder zweite Zustand wird eingenommen abhängig von einer Kräftebilanz aus der Kraft, die durch das Düsenrückstellmittel 52 auf die Düsennadel 53 wirkt und aus der dieser

entgegenwirkenden Kraft, die durch den hydraulischen Druck im Bereich des Nadelabsatzes 57 hervorgerufen wird.

Die Steuereinheit umfasst einen Zulaufkanal 21 und einen Ablaufkanal 22. Der Zulaufkanal 21 und der Ablaufkanal 22 sind mittels eines Ventils hydraulisch koppelbar. Der Zulaufkanal 21 ist von einem niederdruckseitigen Anschluss der Pumpe-Düse-Vorrichtung hin zu dem Ventil geführt. Der Ablaufkanal 22 ist hydraulisch mit dem Arbeitsraum 13 gekoppelt und ist hin zu dem Nadelabsatz 57 geführt und ist hydraulisch mit der Düse 56 koppelbar abhängig von dem Zustand, der von der Dünnadel 53 eingenommen wird.

Das Ventil umfasst ein Ventilglied 231, das vorzugsweise als sog. A-Ventil ausgebildet ist, d. h. es öffnet nach außen entgegen der Strömungsrichtung des Fluids. Das Ventil umfasst ferner einen Absteuerraum 232, der hydraulisch gekoppelt ist mit dem Zulaufkanal 21 und mittels des Ventilglieds 231 mit einem Hochdruckraum hydraulisch koppelbar ist. Der Hochdruckraum ist hydraulisch gekoppelt mit dem Ablaufkanal 22.

In der geschlossenen Stellung des Ventilglieds 231 liegt das Ventilglied 231 an einem Ventilsitz 234 eines Ventilkörpers 237 an. Ferner ist ein Ventilrückstellmittel vorgesehen, welches so angeordnet und ausgebildet ist, dass es das Ventilglied 231 in eine Offenstellung, d. h. beabstandet zu dem Ventilsitz 234 drückt, wenn die durch einen Stellantrieb 24 auf das Ventilglied wirkenden Kräfte geringer sind als die Kräfte, die durch das Ventilrückstellmittel auf das Ventilglied 231 wirken. Das Ventilrückstellmittel ist bevorzugt eine Feder. Der Stellantrieb 24 ist als Piezoaktor mit einem Piezostapel ausgebildet.

Der Stellantrieb 24 ist vorzugsweise mittels eines Übertragers, der vorzugsweise den Hub des Stellantriebs 24 verstärkt, mit dem Ventilglied 231 gekoppelt. An dem Stellantrieb 24 ist vorzugsweise auch ein Stecker zur Aufnahme von elektrischen Kontakten zur Ansteuerung des Stellantriebs 24 vorgesehen.

Eine Vorrichtung 60 zum Steuern der Pumpe-Düse-Vorrichtung ist vorgesehen, die entsprechende Stellsignale für das Ventil erzeugt.

In der Offenstellung des Ventilglieds 231 wird bei einer Bewegung des Kolbens 11, die nach oben d. h. in Richtung weg von der Düse 56 gerichtet ist, Kraftstoff über den Zulaufkanal 21 hin zum Arbeitsraum 13 angesaugt. Solange das Ventilglied 231 während einer anschließenden Abwärtsbewegung des Kolbens 11, d. h. bei einer hin zu der Düse 56 gerichteten Bewegung, weiterhin in seiner Offenstellung befindet, wird der in dem Arbeitsraum 13 und dem Ablaufkanal 22 befindliche Kraftstoff über das Ventil wieder zurück in den Absteuerraum 232 und ggf. in den Zulaufkanal 21 zurückgedrückt.

Wenn jedoch bei der Abwärtsbewegung des Kolbens 11 das Ventilglied 231 in seine geschlossene Stellung gesteuert ist, wird der im Arbeitsraum 13 und somit auch der im Ablaufkanal 22 und der in dem Hochdruckraum 233 befindliche Kraftstoff verdichtet, wodurch der Druck mit zunehmender Abwärtsbewegung des Kolbens 11 im Arbeitsraum 13, im Hochdruckraum 233 und im Ablaufkanal 22 zunimmt. Entsprechend dem steigenden Druck im Ablaufkanal 22 erhöht sich auch die durch den Hydraulikdruck hervorgerufene Kraft, die auf den Nadelabsatz 57 in Richtung einer Öffnungsbewegung der Düsennadel 53 zum Freigeben der Düse 56 wirkt. Wenn der Druck in dem Ablaufkanal 22 einen

Wert überschreitet, bei dem die durch den Hydraulikdruck hervorgerufene Kraft auf den Nadelabsatz 57 größer ist als die dieser entgegenwirkende Kraft des Düsenrückstellmittels 52, bewegt sich die Düsennadel 53 weg vom Nadelsitz 54 und gibt so die Düse 56 für die Kraftstoffzufuhr zum Zylinder der Brennkraftmaschine frei. Die Düsennadel 53 bewegt sich dann wieder hinein in den Nadelsitz 54 und verschließt somit die Düse 56, wenn der Hydraulikdruck in dem Ablaufkanal 22 den Wert unterschreitet, bei dem die durch den Hydraulikdruck am Nadelabsatz 57 hervorgerufene Kraft kleiner ist als die durch das Düsenrückstellmittel 52 hervorgerufene Kraft. Der Zeitpunkt, an dem dieser Wert unterschritten wird und an dem somit die Kraftstoffzumessung beendet wird, kann durch das Steuern des Ventilglieds 231 von seiner geschlossenen Stellung in eine Offenstellung beeinflusst werden.

Durch das Steuern des Ventilglieds von seiner Schließstellung in seine Offenstellung wird die hydraulische Kopplung zwischen dem Hochdruckraum und dem Absteuerraum 232 und dem Zulaufkanal 21 hergestellt. Aufgrund des beim Öffnen herrschenden hohen Druckunterschiedes zwischen dem Fluid in dem Hochdruckraum und dem Ablaufkanal 22 und dem Fluid in dem Absteuerraum 232 und dem Zulaufkanal 21 strömt dann der Kraftstoff von dem Hochdruckraum mit sehr hoher Geschwindigkeit, in der Regel mit Schallgeschwindigkeit, in den Absteuerraum 232 und weiter in den Zulaufkanal 21. Dadurch wird dann der Druck in dem Hochdruckraum und dem Ablaufkanal 22 schnell so stark verringert, dass die von dem Düsenrückstellmittel 52 auf die Düsennadel 53 wirkenden Kräfte dazu führen, dass sich die Düsennadel 53 in den Nadelsitz 54 bewegt und somit dann die Düse 56 verschließt.

Die Figur 2a zeigt den Verlauf der Istwerte  $V_{AV}$  des Spannungsabfalls an dem Piezoaktor aufgetragen über die Zeit  $t$ . Figur 2b zeigt den Hub  $CTRL\_VL$  des Ventilglieds 231 aufgetragen über die Zeit  $t$  und Figur 2c zeigt den Verlauf der Geschwindigkeit  $CTRL\_VL\_V$  des Hubs des Ventilglieds 231. Zu einem Zeitpunkt  $t_1$  wird ein Ladevorgang des Piezoaktors gestartet. Das genaue Steuern des Ladevorgangs wird weiter unten anhand der Figur 3 erläutert. Eine erste elektrische Energiemenge wird dem Piezoaktor während einer ersten Ladezeitdauer  $T_1$  zugeführt, die an einem Zeitpunkt  $t_2$  abgeschlossen ist. Im Anschluss an den Zeitpunkt  $t_2$  wird dem Piezoaktor für eine Haltezeitdauer  $T_2$ , die zu einem Zeitpunkt  $t_3$  beendet ist, keine elektrische Energie zugeführt. Im Anschluss daran wird für eine zweite Ladezeitdauer  $T_3$  dem Piezoaktor eine zweite vorgegebene elektrische Energiemenge zugeführt und zwar verteilt über die zweite Ladezeitdauer  $T_3$ , die zu einem Zeitpunkt  $t_4$  beendet ist. Ab einem Zeitpunkt  $t_3'$  ist das Ventilglied 231 in Anlage mit dem Ventilsitz 234.

Ab einem Zeitpunkt  $t_5$  wird ein Entladevorgang des Piezoaktors gesteuert, der ebenfalls weiter unten noch genauer erläutert ist. Zuerst wird für eine erste Entladezeitdauer  $T_4$  der Piezoaktor mit einer vorgegebenen ersten Energiemenge entladen und zwar bis zu einem Zeitpunkt  $t_6$ . Im Anschluss daran wird für eine vorgegebene Haltezeitdauer  $T_5$  der Piezoaktor nicht weiter entladen und zwar bis zu einem Zeitpunkt  $t_7$ . Im Anschluss daran wird der Piezoaktor für eine zweite Entladezeitdauer  $T_6$  weiter entladen, in dem eine vorgegebene zweite elektrische Energiemenge abgeführt wird. Der Entladevorgang ist dann zu einem Zeitpunkt  $t_8$  abgeschlossen. Das Ventilglied 231 befindet sich dann wieder in seiner vorgegebenen Position entfernt von dem Ventilsitz 234.

Das Steuern des Ladevorgangs wird im folgenden anhand des Ablaufdiagramms der Figur 3 beschrieben, das in Form eines Programms in der Vorrichtung zum Steuern der Pumpe-Düse-Vorrichtung abgespeichert ist und während des Betriebs geladen wird und abgearbeitet wird. Das Programm wird in einem Schritt S1 gestartet, in dem gegebenenfalls Variablen initialisiert werden.

In einem Schritt S2 wird die erste Ladezeitdauer T1, die zweite Ladezeitdauer T3 und die Haltezeitdauer T2 eingelesen. Dabei können die Werte der ersten und zweiten Ladezeitdauer T1, T3 und der Haltezeitdauer T2 in dem Schritt S2 fest vorgegeben sein oder am Ende eines vorangegangenen Durchlaufs des Programms abgespeichert worden sein oder auf andere Weise ermittelt sein.

In einem Schritt S4 wird anschließend ein Sollwert EGY\_SP einer dem Piezoaktor während des Ladevorgangs zuzuführenden Energie abhängig von einer Drehzahl N der Kurbelwelle einer Brennkraftmaschine, dem Zeitpunkt t1, und einer Kraftstofftemperatur T\_F ermittelt.

In einem Schritt S6 wird geprüft, ob die aktuelle Zeit t gleich ist dem Zeitpunkt t1. Ist dies nicht der Fall, so verharrt das Programm für eine vorgegebene Wartezeitdauer T\_W in einem Schritt S8. Die vorgegebene Wartezeitdauer T\_W ist ausreichend kurz gewählt, dass bei einer nachfolgenden erneuten Überprüfung der Bedingung des Schrittes S6 sichergestellt ist, dass die aktuelle Zeit t maximal gleich oder nur unwesentlich größer ist als der Zeitpunkt t1.

Ist die Bedingung des Schrittes S6 erfüllt, so wird in einem Schritt S10 das Zuführen einer ersten elektrischen Energie-

menge zu dem Piezoaktor gestartet. Im Verlauf der Schritte S10 und nachfolgender Schritte S12 und S14 wird dem Piezoaktor eine erste Energiemenge zugeführt und zwar entsprechend dem Sollwert EGY\_SP der zuzuführenden Energiemenge anteilig entsprechend dem Verhältnis der ersten Ladezeitdauer T1 zu der Summe der ersten Ladezeitdauer T1 und der zweiten Ladezeitdauer T3. Das Zuführen der elektrischen Energie erfolgt durch entsprechendes Bestromen des Piezoaktors. In dem Schritt S12 wird anschließend geprüft, ob die aktuelle Zeit t gleich oder größer ist der Summe des Zeitpunktes t1 und der ersten Ladezeitdauer T1. Ist dies nicht der Fall, so verharrt das Programm in einem Schritt S16 für die vorgegebene Wartezeitdauer T\_W, bevor die Bedingung des Schrittes S12 erneut geprüft wird. Ist die Bedingung des Schrittes S12 hingegen erfüllt, so wird in einem Schritt S16 eine Pause des Ladevorgangs gesteuert und zwar für die Haltezeitdauer T2. Während dieser Haltezeitdauer T2 weist die Spannung, die über dem Piezoaktor abfällt, und die in einem anschließenden Schritt S18 als Istwerte V\_AV des Spannungsabfalls an dem Piezoaktor erfasst wird, einen charakteristischen Schwingungsverlauf auf, der durch die Anregung eines Feder-Masseschwinger verursacht ist, der durch den Piezoaktors, das Ventilglied 231 und das Rückstellmittels gebildet wird, wobei die Anregung durch den Ladevorgang während der ersten Ladezeitdauer T1 hervorgerufen ist.

In einem Schritt S20 wird anschließend geprüft, ob die aktuelle Zeit t größer oder gleich ist dem Zeitpunkt t1 und der Summe der ersten Ladezeitdauer T1 und der Haltezeitdauer T2. Ist die Bedingung des Schrittes S20 nicht erfüllt, so verharrt das Programm für die vorgegebene Wartezeitdauer T\_W in dem Schritt S22, bevor ein weiterer Istwert V\_AV des Spannungsabfalls über den Piezoaktor in dem Schritt S18 erfasst

wird. Die in dem Schritt S18 erfassten Istwerte V\_AV des Spannungsabfalls über den Piezoaktor werden für die spätere Bearbeitung zwischengespeichert.

Ist die Bedingung des Schrittes S20 hingegen erfüllt, so wird in einem Schritt S24 der Ladevorgang fortgesetzt und während der nachfolgenden Bearbeitung des Schrittes S26 bis S28 dem Piezoaktor eine vorgegebene zweite elektrische Energiemenge zugeführt, die dem Bruchteil des ersten Sollwertes EGY\_SP der zuzuführenden elektrischen Energie entspricht, der dem Anteil der zweiten Ladezeitdauer T3 an der Summe der ersten und zweiten Ladezeitdauer T1,T3 entspricht.

Anschließend an den Schritt S24 wird in einem Schritt S26 geprüft, ob die aktuelle Zeit t größer oder gleich ist dem Zeitpunktes t1 und der Summe der ersten und zweiten Ladezeitdauer T1, T3 und der Haltezeitdauer T2. Ist die Bedingung des Schrittes S26 nicht erfüllt, so verharrt das Programm für die vorgegebene Wartezeitdauer T\_W in dem Schritt S28, bevor die Bedingung des Schrittes S26 erneut geprüft wird.

Ist die Bedingung des Schrittes S26 hingegen erfüllt, so wird in einem Schritt S30 ein Istwert AMP\_AV der Amplitude des Verlaufs der Istwerte V\_AV des Spannungsabfalls an dem Piezoaktor ermittelt, die während der Haltezeitdauer T2 ermittelt wurden.

In einem Schritt S32 wird anschließend ein Korrekturwert D\_T1 abhängig von dem Istwert AMP\_AV und einem Sollwert AMP\_SP der Amplitude ermittelt. Der Sollwert AMP\_SP der Amplitude ist bevorzugt ein fest vorgegebener Wert oder ein Wert der abhängig von Betriebsparametern des Ventils bzw. der Pumpe-Düse-Vorrichtung vorab vorzugsweise durch Versuche ermittelt ist

und zwar derart, dass bei einer möglichst geringen Abweichung des Istwertes AMP\_AV der Amplitude von dem Sollwert AMP\_SP der Amplitude ein Prellen des Ventilglieds 231 bei seinem Auftreffen auf den Ventilsitz 234 in der gewünschten Art und Weise verringert ist. Bevorzugt wird der Korrekturwert D\_T1 der ersten Ladezeitdauer T1 mittels eines Reglers ermittelt, der bevorzugt P oder PI Verhalten aufweist.

In einem Schritt S34 wird dann eine korrigierte erste Ladezeitdauer T1 abhängig von der Ladezeitdauer T1 und dem Korrekturwert D\_T1 der ersten Ladezeitdauer ermittelt.

In einem Schritt S36 wird anschließend ein Istwert PER\_AV der Periode der Schwingung des Verlaufs der Istwerte V\_AV des Spannungsabfalls an dem Piezoaktor während der Haltezeitdauer T2 ermittelt.

In einem Schritt S38 wird dann ein Korrekturwert D\_T2 der Haltezeitdauer abhängig von dem Istwert PER\_AV der Periode und einem Sollwert PER\_SP der Periode ermittelt. Der Sollwert PER\_SP der Periode ist ebenso wie der Sollwert AMP\_SP der Amplitude so gewählt, dass bei einer Annäherung des Istwertes PER\_AV an den Sollwert PER\_SP der Periode das Prellen des Ventilglieds in der gewünschten Art und Weise verringert ist.

In einem Schritt S40 wird anschließend eine korrigierte Haltezeitdauer T2 abhängig von der Haltezeitdauer T2 und dem Korrekturwert D\_T2 der Haltezeitdauer ermittelt.

In einem Schritt S42 wird dann noch geprüft, ob die erste Ladezeitdauer T1 in Summe mit der Haltezeitdauer T2 größer ist als ein Maximalwert T\_MAX, wobei bei der Bearbeitung des Schrittes S42 jeweils die korrigierten Zeitdauern T1 und T2

relevant sind. Ist dies der Fall, so wird in dem Schritt S42 die erste Ladezeitdauer T1 in der Art und Weise begrenzt, dass die Summe der ersten Ladezeitdauer T1 und der Haltezeitdauer T2 nicht größer sind als der Maximalwert T\_MAX.

In einem Schritt S44 wird die zweite Ladezeitdauer T3 entgegengesetzt zu der ersten Ladezeitdauer T1 verändert, so dass die Summe der ersten und zweiten Ladezeitdauer T1,T3 unverändert bleibt.

Die Bearbeitung des Programms wird dann anschließend erneut in dem Schritt S4 fortgesetzt, wenn ein erneuter Ladevorgang gesteuert werden soll.

In einer einfacheren Ausführungsform des Programms kann auch nur die erste Ladezeitdauer T1 oder die Haltezeitdauer T2 adaptiert werden. Darüber hinaus kann in dem Schritt S18 auch eine andere Größe als die der Spannungsabfall an dem Piezoaktor erfasst werden, die charakteristisch ist für das Schwingsverhalten des Piezoaktors während der Haltezeitdauer T2. Dies ist beispielsweise die in dem Piezoaktor gespeicherte elektrische Energie, der Stromfluss durch den Piezoaktor oder die in dem Piezoaktor befindliche elektrische Ladung.

Ferner kann in einer einfacheren Ausgestaltung des Programms in dem Schritt S30 nur der maximale und minimale Wert der in dem Schritt S18 erfassten Istwerte V\_AV ermittelt werden und dann in einem entsprechend angepassten Schritt S32 der Korrekturwert D\_T1 der ersten Ladezeitdauer T1, abhängig von dem maximalen und minimalen Wert und entsprechenden Referenzwerten ermittelt werden.

Anhand des Ablaufdiagramms der Figur 4 wird im folgenden ein Programm zum Steuern eines Entladevorgangs des Piezoaktors beschrieben. Die Schritte des Programms gemäß Figur 4 sind im wesentlichen analog zu den Schritten des Programms der Figur 3 und es werden im folgenden lediglich die Unterschiede erläutert. Das Programm wird in einem Schritt S1' gestartet. In einem Schritt S2' werden Werte der ersten Entladezeitdauer T4, der Haltezeitdauer T5 und der zweiten Entladezeitdauer T6 eingelesen, die einfacherweise fest vorgegeben sind oder abhängig von Betriebsgrößen des Ventils vorgegeben sein können oder aber bei einem vorangegangenen Ablauf des Programms abgespeichert wurden.

In einem Schritt S4' wird ein Sollwert EGY\_SP der elektrischen Energie ermittelt, die während des Entladevorgangs dem Piezoaktor entnommen werden soll. Dies erfolgt abhängig von der Drehzahl N, dem Zeitpunkt t1, dem Zeitpunkt t5 und bevorzugt abhängig von der Kraftstofftemperatur T\_F.

In einem Schritt S6' wird geprüft, ob die aktuelle Zeit t größer ist als die Zeit t5, ist dies der Fall, so wird in einem Schritt S10' der Entladevorgang gestartet und dem Piezoaktor eine erste elektrische Energiemenge entzogen, die dem Bruchteil des Sollwertes EGY\_SP der elektrischen Energie entspricht, die dem Piezoaktor entnommen werden soll entsprechend dem Verhältnis der ersten Entladezeitdauer T4 und der Summe aus der ersten Entladezeitdauer T4 und der zweiten Entladezeitdauer T6. Der Piezoaktor wird nachfolgend während der weiteren Bearbeitung der Schritte S12' und S16' entsprechend entladen bis in dem Schritt S16' eine Pause des Entladevorgangs erfolgt und zwar für die vorgegebene Haltezeitdauer T5. In einem Schritt S18' werden entsprechend dem Schritt S18 Istwerte V\_AV des Spannungsabfalls an dem Piezoaktor erfasst.

In einem Schritt S20' wird geprüft, ob die aktuelle Zeit größer oder gleich ist dem Zeitpunkt t5 und der Summe der ersten Entladezeitdauer T4 und der Haltezeitdauer T5. Ist die Bedingung des Schrittes S20' erfüllt, so wird in einem Schritt S24' der Entladevorgang fortgesetzt und zwar für die zweite Entladezeitdauer T6, wobei während der nachfolgenden Bearbeitung der Schritte S26' und S28' insgesamt dem Piezoaktor eine zweite vorgegebene elektrische Energiemenge entnommen wird, deren Wert dem Bruchteil des Sollwertes EGY\_SP der elektrischen Energie entspricht, die dem Piezoaktor entnommen werden soll entsprechend dem Anteil der zweiten Entladezeitdauer T6 an der Summe der ersten und zweiten Ladezeitdauer T4, T6.

Der Schritt S30' entspricht dem Schritt S30. In einem Schritt S32' wird anschließend ein Korrekturwert D\_T4 der ersten Entladezeitdauer T4 abhängig von dem Istwert AMP\_AV und einem Sollwert AMP\_SP der Amplitude der Schwingung des Verlaufs der Istwerte V\_AV des Spannungsabfalls an dem Piezoaktor ermittelt. Dies erfolgt analog zu Schritt S32 und zwar derart, dass Druckschwingungen und Geräuschemissionen der Pumpe-Düse-Vorrichtung in der gewünschten Art und Weise stark gedämpft werden.

In einem Schritt S34' wird dann eine korrigierte erste Entladezeitdauer T4 abhängig von der ersten Entladezeitdauer T4 und dem Korrekturwert D\_T4 der ersten Entladezeitdauer T4 ermittelt. Ein Schritt S36' entspricht dann dem Schritt S36. In einem Schritt S38' wird dann ein Korrekturwert D\_T5 der Haltezeitdauer T5 abhängig von dem Istwert PER\_AV der Periodendauer, und dem Sollwert PER\_SP der Periode ermittelt. Der Sollwert PER\_SP der Periode ist so vorgegeben, dass das gewünschte Dämpfen von Druckschwingungen und Geräuschemissionen

bei einer Annäherung des Istwertes PER\_AV an den Sollwert PER\_SP der Periode in der Pumpe-Düse-Vorrichtung erreicht wird.

In einem Schritt S40' wird dann die Haltezeitdauer T5 abhängig von der Haltezeitdauer T5 und dem Korrektur D\_T5 der Haltezeitdauer korrigiert.

In einem nachfolgenden Schritt S42' wird dann noch geprüft, ob die erste Entladezeitdauer T4 kleiner ist als ein Minimalwert T\_MIN, der vorzugsweise abhängig von der Drehzahl N, dem Zeitpunkt t1, dem Zeitpunkt t5 und der Kraftstofftemperatur T\_F ermittelt wird. Ist die erste Entladezeitdauer T4 kleiner als der Minimalwert T\_MIN, so wird die erste Entladezeitdauer T4 gleichgesetzt dem Minimalwert T\_MIN. Dadurch wird sicher gestellt, dass bei einer nachfolgenden Bearbeitung der Schritte S2' bis S42' das Förderende der Pumpe-Düse Vorrichtung also das Schließen der Düsenadel 53 durch das Unterbrechen des Entladenvorgangs im Anschluss an die erste Entladezeitdauer T4 nicht beeinflusst wird. Der Schritt S42' kann dann entfallen, wenn entsprechend übergeordnete Steuerfunktionen der Pumpe-Düse-Vorrichtung, die die gewünschten Zeitpunkte t1 und t5 ermitteln, entsprechend angepasst werden.

In einem Schritt S44' wird die zweite Ladezeitdauer T6 entgegengesetzt zu der ersten Ladezeitdauer T4 verändert, so dass die Summe der ersten und zweiten Ladezeitdauer T4,T6 unverändert bleibt.

Durch das Steuern des Entladenvorgangs gemäß des Programms von Figur 4 in einer auf einfache und äußerst wirksame Weise störende Druckimpulse im Anschluss an das Freigeben des Ventil-

sitzes 234 durch das Ventilglied 231 vermindert werden und so Geräuschemissionen der Pumpe-Düse-Vorrichtung wirksam verringert werden.

Bei dem oben anhand der Figur 3 dargestellten Steuern des Ladevorgangs werden im Schritt S30 ein Istwert AMP\_AV der Amplitude und im Schritt S36 ein Istwert PER\_AV der Periode der Schwingung des Verlaufs der Istwerte V\_AV des Spannungsabfalls an dem Piezoaktor, die während der Haltezeitdauer T2 ermittelt wurden, ermittelt. In den anschließenden Schritten S32 bzw. S38 wird aus dem Istwert AMP\_AV bzw. PER\_AV und dem zugehörigen Sollwert AMP\_SP bzw. PER\_SP ein Korrekturwert D\_T1 für die erste Ladezeitdauer T1 bzw. ein Korrekturwert D\_T2 für die Haltezeit T2 ermittelt.

Bei dem oben anhand der Figur 4 dargestellten Steuern des Entladenvorgangs werden in entsprechenden Schritten S30' und S36' entsprechende Istwerte AMP\_AV und PER\_AV ermittelt. In entsprechenden Schritten S32' und S38' werden abhängig von den Istwerten AMP\_AV und PER\_AV sowie zugeordneten Sollwerten AMP\_SP und PER\_SP Korrekturwerte D\_T4 für die erste Entladezeitdauer T4 und D\_T5 für die Haltezeitdauer T5 während des Entladenvorgangs ermittelt.

Die Istwerte AMP\_AV und PER\_AV werden vorzugsweise für jeden Ladevorgang und jeden Entladenvorgang ermittelt. Entsprechend werden die Korrekturwerte D\_T1, D\_T2 bei jedem Ladevorgang und die Korrekturwerte D\_T4 und D\_T5 bei jedem Entladenvorgang ermittelt. Dies entspricht vier unabhängigen Regelschleifen, bei denen die Istwerte AMP\_AV und PER\_AV für den Ladevorgang und für den Entladenvorgang die Regelgrößen und die erste Ladezeitdauer T1, die Haltezeitdauer T2, die erste Entladezeitdauer T4 und die Haltezeitdauer T5 die Stellgrößen sind.

Gemäß einer bevorzugten Variante werden die Korrekturwerte D\_T1, D\_T2, D\_T4 und D\_T5 nicht nur abhängig von dem letzten Istwert AMP\_AV bzw. PER\_AV, sondern jeweils abhängig von mehreren bei zurückliegenden Ladevorgängen bzw. Entladevorgängen ermittelten Istwerten AMP\_AV bzw. PER\_AV ermittelt. Jede der vier Regelschleifen kann dann beispielsweise I-, PI- ID- oder PID - Charakteristik aufweisen.

Alternativ zu der oben beschriebenen Zuordnung von Stellgrößen und Regelgrößen können auch andere Regelschleifen vorteilhaft sein. Als Regelgrößen kommen neben den Istwerten AMP\_AV und PER\_AV auch beliebige lineare oder nichtlineare Kombinationen oder Funktionen derselben in Frage. Jede dieser Regelgrößen, die sich auf den Ladevorgang bezieht, kann mit jeder Stellgröße des Ladevorgangs (erste Ladezeitdauer T1, Haltezeitdauer T2) kombiniert werden. Desgleichen kann jede der genannten Regelgrößen, die sich auf den Entladevorgang bezieht mit jeder Stellgröße des Entladevorgangs (erste Entladezeitdauer T4, Haltezeitdauer T5) kombiniert werden.

Anstelle der Istwerte AMP\_AV und PER\_AV der Amplitude und PER\_AV der Periode können beliebige andere aus den während der Haltezeitdauer T2 bzw. T5 erfassten Istwerten V\_AV ermittelte Werte als Regelgrößen verwendet werden. Beispiele für solchen weitere Regelgrößen, die ebenso wie AMP\_AV und PER\_AV das Schwingungsverhalten des Piezoaktors charakterisieren, sind die während der Haltezeitdauer T2 bzw. T5 maximale Steigung  $dV_AV/dt$ , der während der Haltezeitdauer T2 bzw. T5 maximale Betrag der Steigung  $|dV_AV/dt|$ , die maximale Steigung  $dV_AV/dt$  oder der maximale Betrag  $|dV_AV/dt|$  der Steigung zwischen den ersten beiden Extrema, die Spannungsdifferenz oder die Zeitdauer zwischen den ersten beiden Extrema oder Kombinationen oder Funktionen, dieser Werte. Als besonders

einfach und besonders vorteilhaft hat es sich dabei herausgestellt, die Spannungsdifferenz und/oder die Zeitdauer zwischen dem ersten Maximum und dem ersten Minimum des Spannungsabfalls am Piezoaktor zu Beginn der Haltezeit T2 während des Ladevorgangs bzw. zwischen dem ersten Minimum und dem ersten Maximum des Spannungsabfalls am Piezoaktor zu Beginn der Haltezeitdauer T5 während des Entladevorgangs zu verwenden.

Wenn die vorliegende Erfindung bei einer Pumpe-Düse-Einspritzvorrichtung für eine Brennkraftmaschine verwendet wird, kann je nach mechanischer Auslegung der Einspritzvorrichtung insbesondere bei höheren und hohen Drehzahlen der Brennkraftmaschine ein Regime erreicht werden, in dem die Steuerventilnadel den Ventilsitz nicht mehr ganz reicht, also nicht mehr vollständig schließt, weil die Einspritzpulse sehr kurz werden. Dieses Regime wird ballistisches Regime bezeichnet. Ferner können mit steigender Drehzahl die Haltezeitdauern T2, T5 reduziert werden und bei hohen Drehzahlen verschwinden. Unter diesen Bedingungen kann es vorteilhaft sein, die beschriebene Regelung nur bei Drehzahlen nahe der Leerlaufdrehzahl vorzunehmen. Bei höheren Drehzahlen wird die Stellgröße dann einfach festgehalten.

Vor allem (aber nicht nur) beim letztgenannten Fall ist es vorteilhaft, abweichend von den obigen Ausführungen als Stellgröße nicht die erste Ladezeitdauer T1, die Haltezeitdauer T2, die erste Entladezeitdauer T4 bzw. die Haltezeitdauer T5 zu verwenden, sondern einen Parameter (beispielsweise einen Off-set), der in die Berechnung derselben eingeht, wobei in die Berechnung ferner weitere Betriebsparameter wie die momentane Drehzahl, die Kraftstofftemperatur etc. eingehen.

In einer einfacheren Ausgestaltung des Programms gemäß Figur 4 kann auch entweder die erste Entladezeitdauer T4 oder die Haltezeitdauer T5 nicht adaptiert werden.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Steuern eines Ventils mit einem Ventilantrieb (24), der als Piezoaktor ausgebildet ist, mit einem Ventilglied (231), einem Ventilkörper (237) und einem Ventilsitz (234), bei dem
  - zu einem vorgebbaren Zeitpunkt (t5) das Ventilglied (231) von einer Position in Anlage mit dem Ventilsitz (234) in eine vorgegebene Position entfernt von dem Ventilsitz (234) gesteuert wird durch einen Entladevorgang des Piezoaktors,
  - der Entladevorgang aufgeteilt wird in eine erste Entladezeitdauer (T4), während der eine vorgegebene erste elektrische Energiemenge von dem Piezoaktor abgeführt wird, eine darauffolgende Haltezeitdauer (T5), während der der Piezoaktor nicht angesteuert wird, und eine darauffolgende zweite Entladezeitdauer (T6), während der eine vorgegebene zweite elektrische Energiemenge von dem Piezoaktor abgeführt wird, und
  - abhängig von dem Verlauf einer Größe, die charakteristisch ist für das Schwingungsverhalten des Piezoaktors während der Haltezeitdauer (T5), die Haltezeitdauer (T5) und/oder die erste Entladezeitdauer (T4) adaptiert wird, um ein präzises Ansteuern des Ventils zu gewährleisten.
2. Verfahren zum Steuern eines Ventils mit einem Ventilantrieb (24), der als Piezoaktor ausgebildet ist, mit einem Ventilglied (231), einem Ventilkörper (237) und einem Ventilsitz (234), bei dem
  - zu einem vorgebbaren Zeitpunkt (t1) das Ventilglied (231) von einer vorgegebenen Position entfernt von dem Ventilsitz (234) in den Ventilsitz (234) gesteuert wird durch einen Ladevorgang des Piezoaktors,

- der Ladevorgang aufgeteilt wird in eine erste Ladezeitdauer (T1), während der eine vorgegebene erste elektrische Energiemenge dem Piezoaktor zugeführt wird, in eine darauf folgende Haltezeitdauer (T2), während der der Piezoaktor nicht angesteuert wird, und eine darauf folgende zweite Ladezeitdauer (T3), während der eine vorgegebene zweite elektrische Energiemenge dem Piezoaktor zugeführt wird, und
- abhängig von dem Verlauf einer Größe, die charakteristisch ist für das Schwingungsverhalten des Piezoaktors während der Haltezeitdauer (T2), die Haltezeitdauer (T2) und/oder die erste Ladezeitdauer (T1) adaptiert wird, um ein präzises Ansteuern des Ventils zu gewährleisten.

3. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Haltezeitdauer (T2, T5) und/oder die erste Entladezeitdauer (T4) bzw. die erste Ladezeitdauer (T1) adaptiert wird abhängig von der Amplitude und/oder der Periode des Verlaufs der Größe, die charakteristisch ist für das Schwingungsverhalten des Piezoaktors während der Haltezeitdauer.
4. Verfahren nach Anspruch 3, bei dem die Haltezeitdauer (T2, T5) adaptiert wird abhängig von der Periode des Verlaufs der Größe, die charakteristisch ist für das Schwingungsverhalten des Piezoaktors während der Haltezeitdauer.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 oder 4, bei dem die erste Entladezeitdauer (T4) bzw. die erste Ladezeitdauer (T1) adaptiert wird abhängig von der Amplitude des Verlaufs der Größe, die charakteristisch ist für das

Schwingungsverhalten des Piezoaktors während der Haltezeitdauer (T<sub>2</sub>, T<sub>5</sub>).

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5 abhängig von Anspruch 2, bei dem die Summe der ersten Ladezeitdauer (T<sub>1</sub>) und der Haltezeitdauer (T<sub>2</sub>) auf einen Maximalwert (T<sub>MAX</sub>) begrenzt wird, bei dem sichergestellt ist, dass das Ventilglied (231) sich noch nicht in Anlage mit dem Ventilsitz (234) befindet.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das Ventil Teil einer Pumpe-Düse-Vorrichtung mit
  - einer Pumpe, die einen Kolben (11) und einen Arbeitsraum (13) hat,
  - einer Steuereinheit ist, die einen Ablaufkanal (22), der hydraulisch gekoppelt ist mit dem Arbeitsraum (13), den Piezoaktor, der einen Ventilantrieb (24) bildet, und das Ventil umfasst, wobei das Ventil ein Ventilglied (231), einem Ventilkörper (237), einem Ventilsitz (234) und einem Absteuerraum (232), der hydraulisch entkoppelt ist von dem Ablaufkanal (22), wenn das Ventilglied (231) an dem Ventilsitz (234) anliegt, und der ansonsten hydraulisch gekoppelt ist mit dem Ablaufkanal (22), umfasst.
8. Verfahren nach Anspruch 7,  
bei dem die erste Entladezeitdauer (T<sub>1</sub>) auf einen Minimalwert (T<sub>MIN</sub>) begrenzt wird, bei dem sichergestellt ist, dass die Düsenadel (53) die Düse (56) verschließt.

1/4

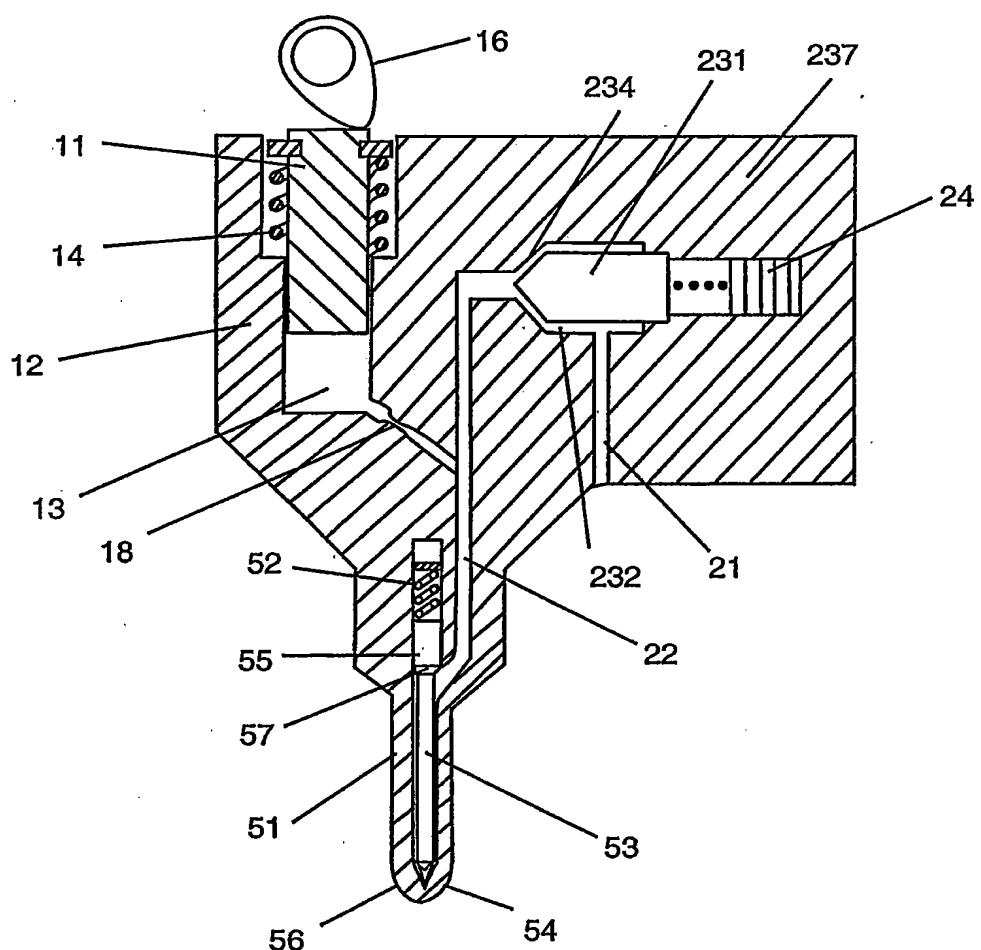
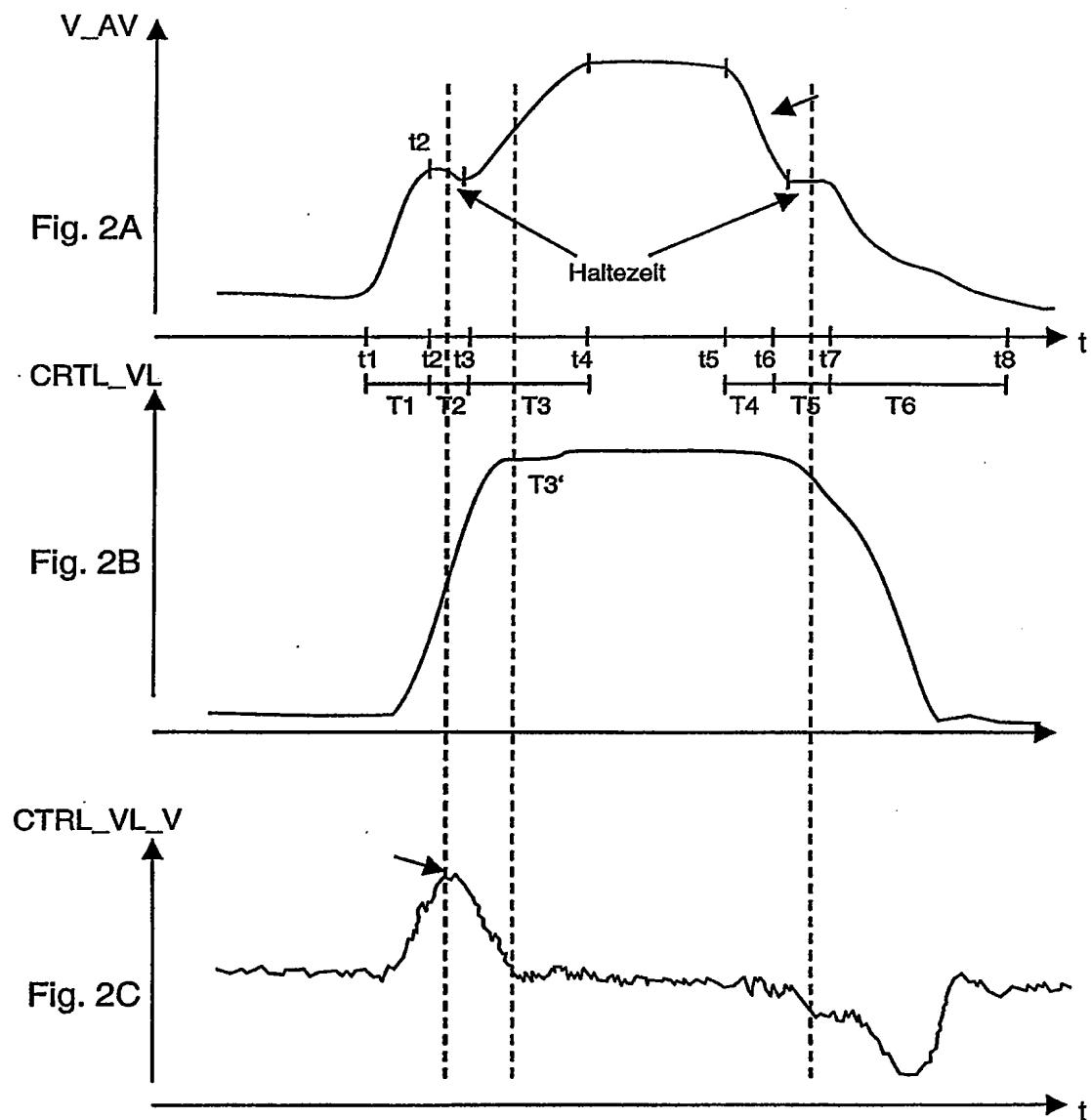


Fig. 1

2/4



3/4

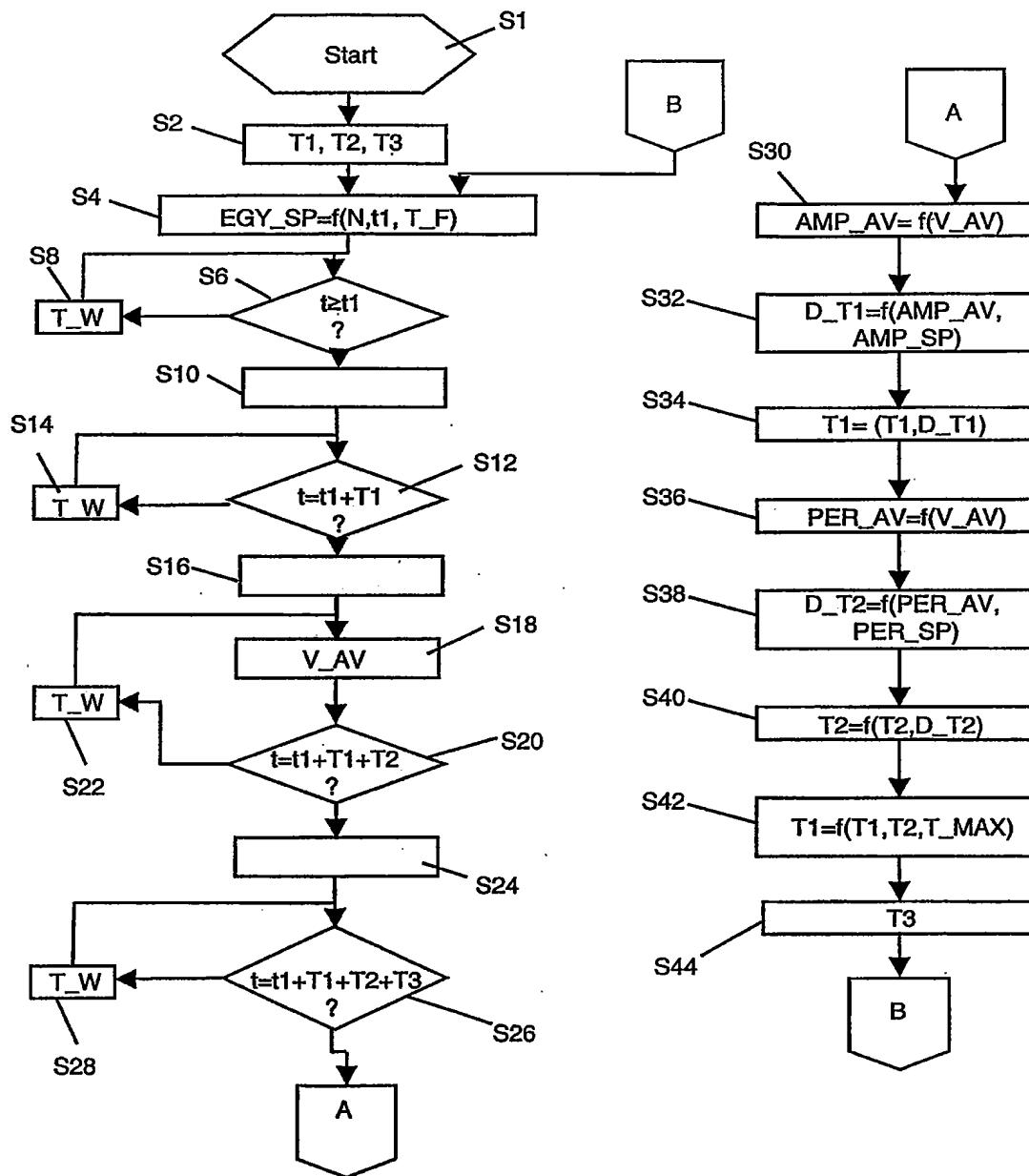


Fig. 3

4/4

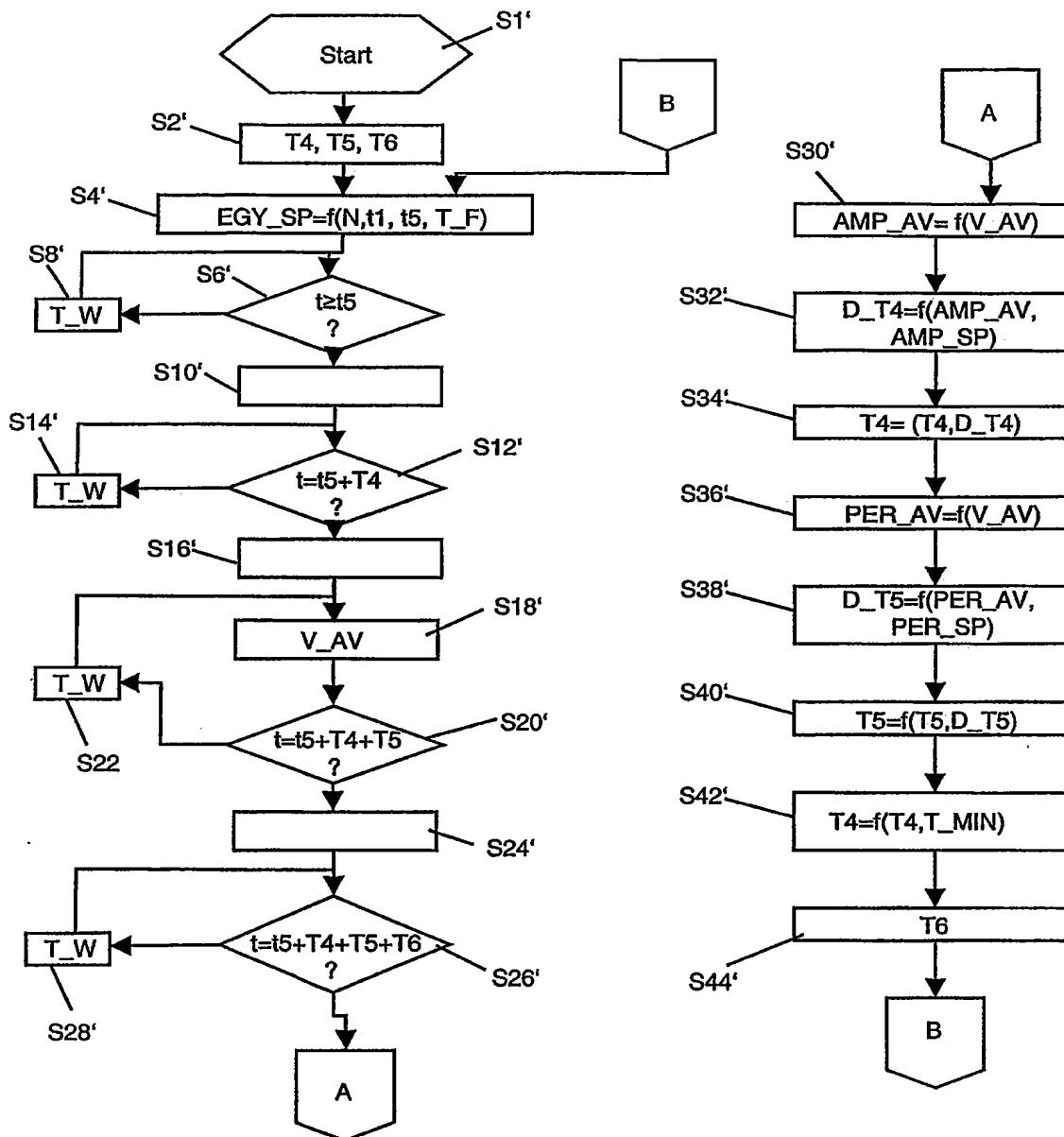


Fig. 4